



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013145254/28, 10.10.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
10.10.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 10.10.2013

(45) Опубликовано: 27.01.2015 Бюл. № 3

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: П.А. Коузов и др., Методы определения физико-химических свойств промышленных пылей. Л. Химия, стр.55-636 1983 . WO 2012055048 A1 03.05.2012. SU 256344 A1 04.11.1969. SU 239654 A1 18.03.1969. SU 1662226 A3 20.01.1999

Адрес для переписки:

141700, Московская обл., г. Долгопрудный,
Институтский пер., 9, МФТИ, Директор Центра
трансфера технологий МФТИ Сукманская
Ольга Викторовна

(72) Автор(ы):

Автайкин Сергей Владимирович (RU),
Алексеев Сергей Александрович (RU),
Евстафьев Игорь Борисович (RU),
Завьялов Иван Николаевич (RU),
Казакова Марта Борисовна (RU),
Лобачёв Александр Евгеньевич (RU),
Негодяев Сергей Серафимович (RU),
Никитаев Сергей Павлович (RU),
Перетягко Александр Александрович (RU),
Попов Леонид Леонидович (RU),
Потылицын Иван Юрьевич (RU),
Рыжаков Михаил Викторович (RU),
Ушакова Елена Павловна (RU),
Чернов Сергей Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

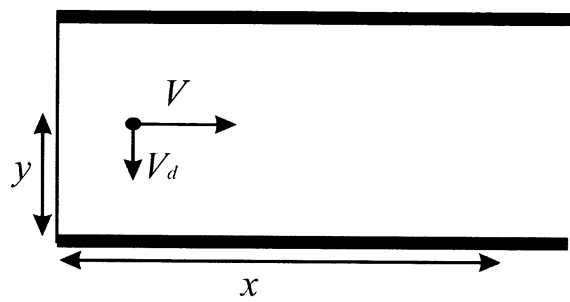
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Московский физико-технический институт"
(государственный университет) (RU)

(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА АЭРОЗОЛЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к способам контроля состояния атмосферного воздуха и может быть использовано для мониторинга загрязнения окружающей среды аэрозолями, а также для контроля аварийных выбросов. Способ измерения дисперсного состава аэрозольных частиц и их концентрации в воздушной среде осуществляют при использовании криволинейного канала. При движении воздуха с частицами через криволинейный участок канала надвигающиеся частицы действует центробежная сила. Скорость центробежного движения частиц к стенке канала пропорциональна их размеру и массе, поэтому в

начале канала осаждаются наиболее крупные частицы, а дальше по каналу оседающие частицы становятся все мельче и мельче. Таким образом, регистрируя количество осевших частиц вдоль канала, в зависимости от формы канала и скорости прокачки воздуха можно определить дисперсный состав аэрозоля. Техническим результатом является обеспечение возможности измерений дисперсности аэрозоля в режиме реального времени, повышение чувствительности, селективности и точности, а также снижение трудоемкости измерений. 3 з.п. ф-лы, 2 ил.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2013145254/28, 10.10.2013**(24) Effective date for property rights:
10.10.2013

Priority:

(22) Date of filing: **10.10.2013**(45) Date of publication: **27.01.2015** Bull. № 3

Mail address:

**141700, Moskovskaja obl., g. Dolgoprudnyj,
Institutskij per., 9, MFTI, Direktor Tsentra transfera
tekhnologij MFTI Sukmanskaja Ol'ga Viktorovna**

(72) Inventor(s):

**Avtajkin Sergej Vladimirovich (RU),
Alekseev Sergej Aleksandrovich (RU),
Evstaf'ev Igor' Borisovich (RU),
Zav'jalov Ivan Nikolaevich (RU),
Kazakova Marta Borisovna (RU),
Lobachev Aleksandr Evgen'evich (RU),
Negodjaev Sergej Serafimovich (RU),
Nikitaev Sergej Pavlovich (RU),
Peretjat'ko Aleksandr Aleksandrovich (RU),
Popov Leonid Leonidovich (RU),
Potylitsyn Ivan Jur'evich (RU),
Ryzhakov Mikhail Viktorovich (RU),
Ushakova Elena Pavlovna (RU),
Chernov Sergej Aleksandrovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federal'noe gosudarstvennoe avtonomnoe
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego
professional'nogo obrazovanija "Moskovskij
fiziko-tehnicheskij institut" (gosudarstvennyj
universitet) (RU)**

(54) **METHOD TO DETERMINE DISPERSE COMPOSITION OF AEROSOL**

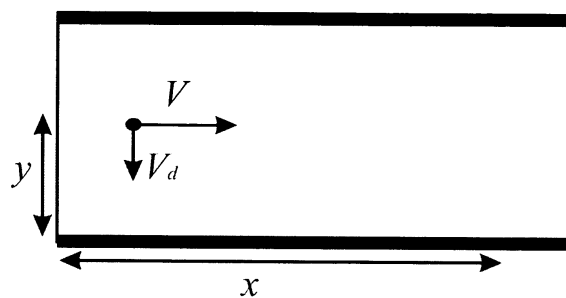
(57) Abstract:

FIELD: instrumentation.

SUBSTANCE: method to measure disperse composition of aerosol particles and their concentration in air medium is carried out using a curvilinear channel. As air moves with particles via a curvilinear section of the channel, a centrifugal force impacts the moving particles. The speed of centrifugal movement of particles to the wall of the channel is proportionate to their size and mass, therefore in the beginning of the channel largest particles are deposited, and further in the channel the deposited particles become smaller and smaller. Therefore, by recording the number of deposited particles along the channel, depending on the shape of the channel and speed of air pumping, one may determine a disperse composition of an aerosol.

EFFECT: provision of the possibility to measure dispersion of an aerosol in real-time mode, increased sensitivity, selectivity and accuracy, reduction of labour intensiveness of measurements.

4 cl, 2 dwg



Фиг. 1

Техническое решение относится к устройствам контроля состояния атмосферного воздуха и может быть использовано для мониторинга загрязнения аэрозолями окружающей среды, а также для контроля аварийных выбросов в атмосферу.

Определение. Дисперсный состав показывает, какую долю по массе, объему или числу составляют частицы в любом диапазоне их размеров. Характеристика дисперсного состава может быть задана в виде таблицы, кривой или формулой, выражающей функцию распределения или плотности распределения частиц.

Существует много способов контроля дисперсного состава аэрозоля, в том числе путем осаждения частиц из потока. Среди них достаточно широкое распространение получил центробежный способ воздушной сепарации. Функция распределения массы осевших частиц по длине стенки зависит от дисперсного состава аэрозоля. По графику накопленной массы осевших частиц, где по осям отложены «длина канала» и «масса частиц», рассчитывают дисперсный состав аэрозоля. Первая публикация о щелевом пробоотборнике с вращающейся чашкой Петри была в 1950 г. (Lidwell O.M.). Этот принцип был положен в основу воздушной центрифуги «Бако», выпускаемой фирмой «NEU» (Франция) и позволяющей разделять взвесь исследуемых частиц общей массой ~10 г на восемь фракций в пределах от 1 до 60 мкм в течение ~2 ч. При всех достоинствах такого способа, а именно высокая чувствительность, относительная простота реализации, ему присущи следующие существенные недостатки: ограничение по верхнему пределу измерений счетной и массовой концентраций аэрозолей; неизокинетический отбор проб, связанный с необходимостью прокачки проб аэрозоля через центрифугу, что вносит искажения в определение дисперсного состава для жидкого аэрозоля в области больших размеров из-за разрушающего действия силы вязкости, приложенных к каждой частице со стороны среды при изменении вектора скорости. Эта сила может существенно превышать прочность аэрозольных частиц (например, в случае жидкой частицы - силы поверхностного натяжения), из-за чего происходит ее дробление, а значит и искажение результатов измерения дисперсного состава (увеличение доли частиц малых размеров за счет дробления частиц крупных размеров).

Известен способ измерения концентрации частиц аэрозоля, осаждаемых в поле тяжести с регистрацией распределения осевшей массы последовательно вдоль канала [1]. Однако данный способ не позволяет вести измерения в режиме реального времени и имеет низкую точность.

Известен способ предварительной сепарации аэрозольных частиц для дальнейшего анализа в каскадном импакторе [2]. Однако данный способ за счет центробежных сил приводит к исключению из анализа тяжелых частиц.

Наиболее близким является центробежный способ анализа аэрозоля [3] включающий: прокачивание воздушной среды с исследуемым аэрозолем через прямолинейный вращающийся вокруг своей оси канал, осаждение частиц на стенках канала под действием центробежных сил, снятие информации о дисперсионном распределении частиц вдоль канала и вычисление дисперсного состава аэрозоля. Недостатком данного способа является невозможность измерения в режиме реального времени, а также большая трудоемкость измерений (так, для снятия информации о дисперсном распределении частиц вдоль канала из прибора необходимо извлекать этот канал с накопленными частицами аэрозоля).

Задача авторов предлагаемого изобретения состояла в разработке способа измерений дисперсности аэрозоля в режиме реального времени снижении трудоемкости измерений при повышении чувствительности, селективности и точности.

Поставленная задача решается тем, что способ включает прокачивание воздушной

среды с исследуемым аэрозолем через проточный канал, осаждение частиц на стенках канала под действием центробежных сил, снятие показаний о дисперсионном распределении частиц вдоль канала и определение дисперсного состава аэрозоля, согласно изобретению, центробежное осаждение частиц осуществляют за счет прокачки воздушной среды с исследуемым аэрозолем через проточный канал по криволинейной траектории, показания снимают последовательно расположенными чувствительными к осаждаемым частицам аэрозоля сенсорами, показания сенсоров аппроксимируются кусочно-гладкой кривой, берут производную кусочно-гладкой кривой и по производной вычисляют дисперсный состав аэрозоля.

При этом показания снимают чувствительными к осаждаемому аэрозолю полупроводниковыми датчиками.

При этом съём показаний чувствительных сенсоров и вычисление дисперсного состава аэрозоля осуществляют в режиме реального времени.

При этом прокачивание воздушной среды с исследуемым аэрозолем осуществляют через проточный канал с квадратным сечением, постоянным радиусом кривизны R и площадью поперечного сечения S , выбираемых из соотношения

$$r = \sqrt{\frac{9L R S \eta}{4x \rho q}},$$

где: q - объемный расход воздуха через канал, η - вязкость воздуха, r - радиус частицы аэрозоля, x - расстояние от точки входа потока в канал до места осаждения, ρ - плотность частицы аэрозоля, L - расстояние между стенками квадратного канала.

Новизна изобретения состоит в том, что дисперсное осаждение частиц аэрозоля вдоль измерительного канала происходит за счет его кривизны и скорости аспирации, без использования вращающихся элементов, которые усложняют реализацию способа, могут разрушать аэрозольные частицы и могут искажать результаты измерений как в известных способах, более того измерение может проводиться в режиме реального времени, что делает возможным постоянный мониторинг атмосфер.

Новая взаимосвязь известных и новых признаков изобретения позволила достигнуть нового более высокого технического результата. Согласно заявленному способу, движение воздушного потока по криволинейной траектории, при котором посредством центробежных сил исследуемые частицы аэрозоля непрерывно оседают на датчиках измерения, расположенных вдоль данной траектории, обеспечивает непрерывный контроль (измерение дисперсного состава аэрозоля) в реальном режиме времени с достаточно высокой точностью (достоверностью) при снижении трудоемкости измерений.

Предлагаемый способ поясняется следующими графическими материалами.

На фиг.1 приведен участок канала со схемой скоростей движения частиц аэрозоля.

На фиг.2 приведен график дисперсного состава аэрозоля, где квадраты - результаты, полученные с помощью заявляемого способа, а круги - паспортные данные небулайзера P4 MED2000.

Способ реализуется следующим образом. В проточный криволинейный канал аспирацией закачивается внешняя воздушная среда с исследуемым аэрозолем и прокачивается через него, при этом происходит осаждение частиц на стенках канала под действием центробежных сил. Одновременно осуществляется снятие показаний с последовательно расположенных чувствительных к осаждаемым частицам аэрозоля сенсоров. Крупные частицы оседают быстрее, чем мелкие, следовательно, в начале канала оседают все частицы (и крупные, и мелкие), а дальше по ходу канала оседают

частицы меньших размеров, но всегда оседают частицы всех размеров, оставшихся в потоке. Таким образом, именно разница показаний между последовательно расположенными сенсорами является информацией для вычисления дисперсного состава аэрозоля. То есть необходимо аппроксимировать полученные от сенсоров данные кусочно-гладкой кривой, брать производную кусочно-гладкой кривой и по производной вычислять дисперсный состав аэрозоля.

Пример конкретного применения центробежного способа анализа аэрозоля. Для реализации способа использовалось устройство, состоящее из криволинейного канала с постоянным радиусом кривизны $R=0,1$ м, канал имел квадратное сечение со стороной квадрата равной $L=0,005$ м, вдоль стенки канала располагались полупроводниковые сенсоры фирмы Figaro. Чтобы организовать аспирацию воздуха вдоль канала, его подключали к побудителю расхода. При испытаниях устройства аэрозоль создавался при помощи небулайзера P4 MED2000.

Примем следующие обозначения:

S - площадь квадратного сечения канала со стороной L ,

R - радиус кривизны канала,

q - объемный расход воздуха через канал 0.000018 м³/с,

η - вязкость воздуха 172 мкПа/с,

r - радиус частицы аэрозоля,

ρ - плотность частицы аэрозоля 1000 кг/м³,

ρ_v - плотность воздуха 1 кг/м³,

x - расстояние вдоль канала, отсчитывается от входного сечения канала до точки осаждения (первый сенсор находится на расстоянии 0.05 м от входного сечения),

y - расстояние вдоль радиальной оси канала, отсчитывается от внешней стенки канала по направлению к центру кривизны канала в момент пересечения частицы аэрозоля входного сечения канала.

Поток воздуха внутри канала движется со средней скоростью

$$V = \frac{q}{S}$$

На частицы аэрозоля внутри потока действует центробежная сила $F_{\text{ц}}$ и сила Стокса $F_{\text{с}}$:

$$F_{\text{ц}} = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho \frac{V^2}{R} = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho \frac{q^2}{R S^2}$$

$$F_{\text{с}} = \rho_v \pi r^2 V_d^2 \left(\frac{6}{\text{Re}_r} + 0.21 \right) = \rho_v \pi r^2 V_d^2 \left(\frac{6\eta}{\rho_v r V_d} + 0.21 \right) =$$

$$= 6\pi\eta V_d + 0.21 \rho_v \pi r^2 V_d^2 \approx 6\pi\eta V_d$$

$$F_{\text{с}} = \rho_v \pi r^2 V_d^2 C \approx 6\pi\eta V_d$$

где V_d - скорость дрейфа частицы вдоль радиальной оси,

C - коэффициент лобового сопротивления,

Re_r - число Рейнольдса для частицы аэрозоля (считаем малым).

Приравнивая центробежную силу и силу Стокса, получаем, что

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho \frac{q^2}{RS^2} = 6\pi\eta V_d$$

$$V_d = \frac{2r^2 \rho q^2}{9RS^2\eta} (*)$$

Частица за одно и то же время t пройдет расстояние y со скоростью V_d вдоль радиальной оси и расстояние x со скоростью V вдоль канала (см. фиг.1).

$$t = \frac{y}{V_d} = \frac{x}{V}$$

$$V_d = \frac{yq}{xS}$$

Используя формулу (*), получаем:

$$r = \sqrt{\frac{yq}{xS} \frac{9RS^2\eta}{2\rho q^2}} = \sqrt{\frac{9y}{2x} \frac{RS\eta}{\rho q}}$$

Так как в канале формируется течение Пуазейля, основной расход воздуха в канале происходит в его центральной части, тогда последнюю формулу приводим к виду:

$$r = \sqrt{\frac{9L}{2x} \frac{RS\eta}{\rho q}}$$

Из последней формулы следует, что на расстоянии x от точки входа в канал будут оседать частицы с характерным радиусом r . Интенсивность отклика датчика прямо пропорциональна количеству осаждаемого на него аэрозоля, что позволяет определить дисперсный состав аэрозоля.

Реализуемость предлагаемого способа подтверждается результатами испытаний описанного выше устройства путем сравнения измеряемой устройством дисперсностью аэрозоля и паспортными данными использованного небулайзера P4 MED2000.

Дисперсный состав аэрозоля, полученный при помощи испытуемого устройства, в сравнении с паспортными данными небулайзера приведен на графике (см. фиг.2), где квадраты - результаты, полученные с помощью заявляемого способа, а круги - паспортные данные небулайзера P4 MED2000. По результатам испытания устройства процентное содержание частиц фракционного состава меньше 6 мкм находилось в интервале 80-85%, что соответствует паспортным данным небулайзера P4 MED2000.

Список литературы

1. Патент США №4570494, НПК 73/863.22, МПК G01N 1/22. Прибор для отбора проб и анализа аэрозоля.

2. Патент США №6595368, НПК 209/139.1, МПК G01N 15/02. Предварительный сепаратор для входа каскада импакторов.

3. П.А. Коузов, Л.Я. Скрябина. Методы определения физико-химических свойств промышленных пылей. Л. «Химия», 1983, с.55-63.

Формула изобретения

1. Способ определения дисперсного состава аэрозоля, включающий прокачивание воздушной среды с исследуемым аэрозолем через проточный канал, осаждение частиц на стенках канала под действием центробежных сил, снятие показаний о дисперсионном распределении частиц вдоль канала и определение дисперсного состава аэрозоля,

отличающийся тем, что центробежное осаждение частиц осуществляют за счет прокачки воздушной среды с исследуемым аэрозолем через проточный канал по криволинейной траектории, показания снимают последовательно расположенными чувствительными к осаждаемым частицам аэрозоля сенсорами, по полученным данным строят график зависимости показаний сенсоров от их расстояния от входного сечения канала вдоль оси канала, полученный график аппроксимируют кусочно-гладкой кривой, берут производную кусочно-гладкой кривой и по производной вычисляют дисперсный состав аэрозоля.

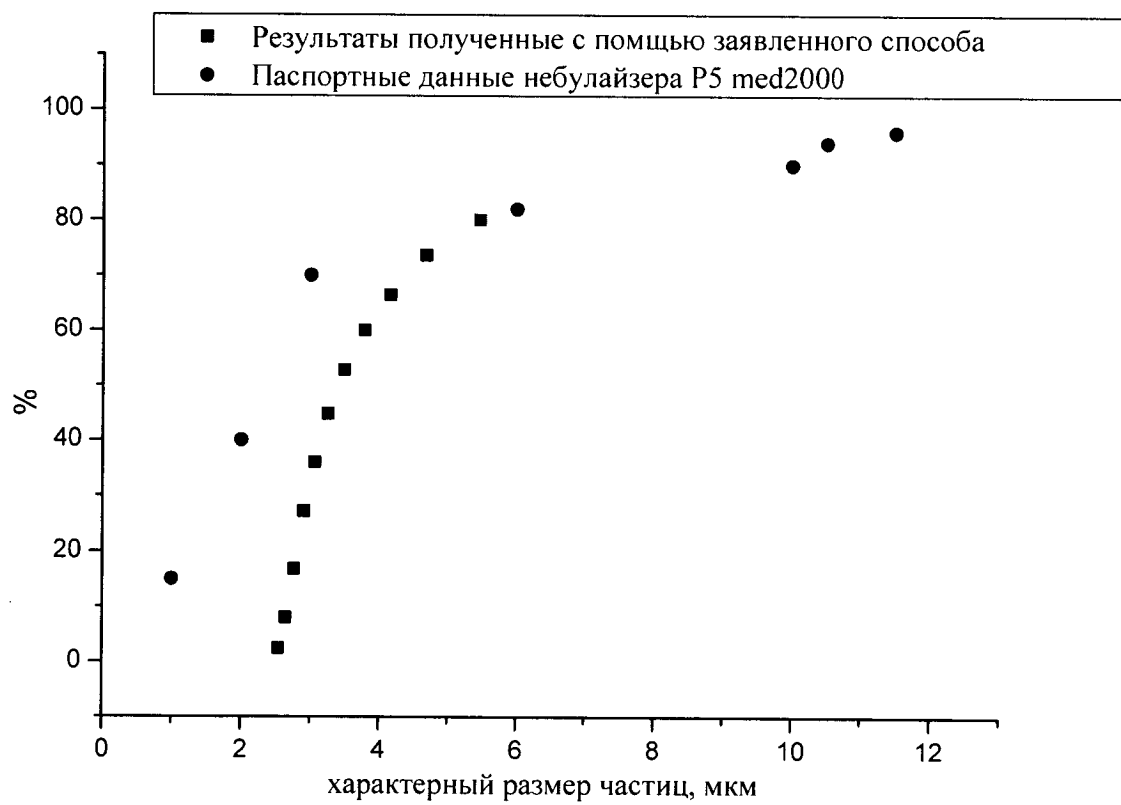
2. Способ по п.1, отличающийся тем, что показания снимают чувствительными к осаждаемому аэрозолю полупроводниковыми датчиками.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что съем показаний чувствительных сенсоров и вычисление дисперсного состава аэрозоля осуществляют в режиме реального времени.

4. Способ по п.1, отличающийся тем, что прокачивание воздушной среды с исследуемым аэрозолем осуществляют через проточный канал с квадратным сечением, постоянным радиусом кривизны R и площадью поперечного сечения S , выбираемых из соотношения

$$r = \sqrt{\frac{9L R S \eta}{4x \rho q}},$$

где: q - объемный расход воздуха через канал, η - вязкость воздуха, r - радиус частицы аэрозоля, x - расстояние от точки входа потока в канал до места осаждения, ρ - плотность частицы аэрозоля, L - расстояние между стенками квадратного канала.



Фиг. 2